

Verfahren zur Entzerrung und Demodulation eines über einen zeitveränderlichen Kanal übertragenen Datensignals

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entzerrung und zur Demodulation eines über einen zeitveränderlichen Kanal zu einem Empfänger übertragenen Datensignals.

10 Moderne Datenübertragungsverfahren über zeitveränderliche Kanäle (Fading-Kanäle) sind anfällig gegenüber Intersymbolinterferenzen (ISI) oder Interchannelinterferenzen (ICI). Demgemäß ist eine Kanalschätzung und Entzerrung notwendig.

15

Konventionelle Verfahren zur Kanalschätzung und Entzerrung basieren auf der Schätzung der Kanalimpulsantwort als Zeitfunktion bzw. im Spektralbereich. Diese wird in der Regel direkt mit Hilfe von Training-Sequenzen geschätzt.

20 Das der Schätzung zugrunde liegende Kanalmodell kann entweder nur eine einzige Zeitfunktion modellieren, oder aber über das übliche tapped-delay-Modell verschiedene Pfade mit unterschiedlicher Verzögerung berücksichtigen. Den Modellen und damit Schätzverfahren ist gemeinsam, daß
25 sie die Geometrie der die Verzerrung verursachenden Scatterer (Streuer) nicht berücksichtigen.

Bei Multicarrier-Verfahren, z.B. OFDM, ergeben unterschiedliche Dopplershifts in den einzelnen Pfaden des
30 Kanals ICI, d.h. die benachbarten Träger beeinflussen einen bestimmten Träger. Besitzt der reale Kanal mehrere Pfade mit unterschiedlicher Dopplershift, kann ein konventionelles Verfahren mit der direkten Schätzung des Kanals über dessen Impulsantwort diese verschiedenen
35 Dopplershifts nicht ermitteln. Demgemäß bleibt ICI bestehen und der Empfänger kann das Signal nicht optimal empfangen und verarbeiten.

Die üblichen Annahmen über die zeitliche Änderung des Kanals gehen davon aus, daß sich die Impulsantwort des Kanal zwischen den Training-Sequenzen nur gering bzw. deterministisch ändert und die verwendeten Kanalschätz- und Tracking-Algorithmen hinreichend konvergieren.

Bei Multicarrier-Verfahren, z.B. OFDM, wird implizit vorausgesetzt, daß der Kanal auf einem OFDM-Block konstant ist. Ein Verfahren für die Entzerrung von DVB-T auf der Basis der Annahme der Konstanz ist beispielsweise in Burow-R; Fazel-K; Hoeher-P; Klank-O; Kussmann-H; Pogrzeba-P; Robertson-P; Ruf-M-J "On the performance of the DVB-T system in mobile environments" IEEE GLOBECOM 1998 beschrieben.

Bei sehr schnell veränderlichen Kanälen bedingen die oben angeführten Vorgehensweisen eine schnelle Abfolge von Training-Sequenzen bzw. eine schlechtere Konvergenz der Kanalschätzung. Bei den Multicarrier-Verfahren ist die erwähnte Konstanz auf einem Block nicht mehr gewährleistet, so daß die Performance der Verfahren stark abnimmt.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Entzerren und zur Demodulation eines über einen solchen zeitveränderlichen Übertragungskanal übertragenen Datensignals zu schaffen, das diese Nachteile und Beschränkungen bezüglich der Eigenschaften des Kanals vermeidet.

Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Verfahren laut Oberbegriff des Hauptanspruches durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird nicht mehr die Kanalimpulsantwort für die Kanalschätzung benutzt, sondern vielmehr die sogenannten Scatterer-Koeffizienten, nämlich die komplexwertige Dämpfung, die Verzögerung und die

Dopplershift im Kanal. Die durch sogenannte Streuer (Scatterer) verursachten Reflexionen eines zwischen Sender und Empfänger ausgestrahlten Signals sind ursächlich für die Qualität des Übertragungskanals, wie dies
5 beispielsweise beschrieben ist in dem Buch von Raymond Steele, "Mobile Radio Communications", Pentech Press, London, 1992, Abschnitt 2.3.1. Solche Scatterer wie Gebäude oder Fahrzeuge verzerren das zwischen Sender und Empfänger übertragene Datensignal. Am verzerrten
10 Datensignal können im Empfänger diese auf die Scatterer zurückzuführenden Scatterer-Koeffizienten ermittelt werden, mit denen dann das verzerrte Datensignal entzerrt und schließlich demoduliert werden kann. Gemäß der Erfindung werden also die Kanaleigenschaften durch diese
15 Scatterer-Koeffizienten definiert, die im Sinne der nachfolgenden Beschreibung auf einfache Weise aus den empfangenen verzerrten Datensignalen ermittelt werden können.

20 Die Erfindung wird im Folgenden anhand schematischer Zeichnungen an Ausführungsbeispielen näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 die zweidimensionale Anordnung der Scatterer mit
25 diskretisierten Doppelfrequenzen und Verzögerungen;

Fig. 2 einen Suchbaum und

30 Fig. 3 einen von dem Suchbaum der Fig. 2 abgeleiteter Baum mit Berücksichtigung der Codierung.

Fig. 1 zeigt anhand eines zweidimensionalen Feldes die Diskretisierung der Dopplerfrequenz f_d und der Verzögerung
35 τ im Übertragungskanal für verschiedene Scatterer. Diese graphische Darstellung läßt sich unmittelbar in eine Scatterer-Matrix S mit den Scattererkoeffizienten $S(m,k)$ überführen, wie sie in den nachfolgenden Gleichungen (1) bis (4) verwendet wird. Die Koeffizienten der Matrix S

stellen die komplexwertigen Dämpfungswerte (Amplitude und Phase) dar. Die Quantisierung in Verzögerungsrichtung τ und in Dopplershift-Richtung f_d hängt vom Kanal und Datenübertragungsverfahren ab. Die Maximalwerte K für die diskrete normierte Dopplershift und M für die diskrete normierte Verzögerung ergeben sich durch die physikalischen Parameter des Kanals. Wie ersichtlich, ist es vorteilhaft und ohne Beschränkung der Allgemeinheit sinnvoll, daß die Quantisierungen in Verzögerungs- und Dopplershift-Richtung jeweils äquidistant sind. Tritt für einen bestimmten Eintrag kein physikalischer Scatterer auf, so wird der entsprechende Scatterer in der Matrix einfach zu Null gesetzt.

In Fig. 1 sind fünf Scatterer dargestellt, deren Indizes der Position in der Scatterermatrix entsprechen; die Nummerierung beginnt hier mit 1.

Die Symmetrie bezüglich der Dopplershift (positive und negative Werte) ist nicht a priori notwendig, sondern vom Kanal abhängig.

Dieses physikalische Modell berücksichtigt folglich die Geometrie des Ausbreitungsmodells des Kanals anstelle der Impulsantworten. Diese Geometrie und damit die dem jeweiligen Scatterer zugeordnete Verzögerung τ und Dopplershift f_d bleibt während genügend langen Zeiten praktisch konstant, da sich Sender und/oder Empfänger nicht beliebig schnell bewegen bzw. beliebig schnelle Bewegungsänderungen durchführen können.

Im Gegensatz hierzu kann sich die Impulsantwort des Kanals im Prinzip beliebig innerhalb der zulässigen physikalischen Grenzen ändern. Die diskrete Impulsantwort errechnet sich aus den komplexen Scatterern-Koeffizienten $S(m,k)$ zu

$$h(m,i) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=-K}^K S(m,k) e^{j2\pi \frac{ki}{N}}$$

$$h(i) = \sum_{m=0}^M h(i,m) \quad (1)$$

Hierbei ist K die maximal vorkommende Dopplerfrequenz, m ist der Laufindex für die Verzögerung und i ist die diskrete Laufvariable für die Zeit. $h(i)$ ist die resultierende diskrete zeitliche Impulsantwort des Kanals. Sie wird über die Länge N betrachtet.

Die zeitvariante kontinuierliche Impulsantwort des Kanals $h(\tau,t)$ ist physikalisch in τ und f_d begrenzt. Daher gilt für die Scattererfunktion $S(\tau,f_d)$ als die Fouriertransformation von $h(\tau,t)$ über t $S(\tau,f_d) = 0$ für $\tau \geq \tau_{\max}, |f_d| \geq f_{d,\max}$. In Analogie zum Abtasttheorem kann die Impulsantwort $h(\tau,t)$ daher vollständig durch Abtastwerte im Frequenzbereich dargestellt werden, so daß sich (1) als diskrete Darstellung des Kanals ergibt.

Der Maximum-Likelihood-Ansatz für die Ermittlung der Scatterer-Koeffizienten Matrix S im Zeitbereich ergibt durch die Minimierung des nachfolgenden Ausdrucks nach den Scatterer-Koeffizienten.

$$\sum_{i=0}^{N-1} \left\| r(i) - \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^M d(i-m) \sum_{k=-K}^K S(m,k) e^{j2\pi \frac{ki}{N}} \right\|^2 \quad (2)$$

Hierbei wird implizit vorausgesetzt, daß die gesendeten Datensymbole $d(i-m)$ bekannt sind. $r(i)$ ist ein Sample des empfangenen Signals.

Die Variablen $r(i)$ und $d(i-m)$ sind im Zeitbereich definiert.

Die Datensymbole sind entweder direkt bekannt als Trainingsequenz vorausgesetzt oder sie werden aus dem empfangenen Signal durch die nachfolgend beschriebenen Verfahren ermittelt.

Die Schätzung der Scatterer-Koeffizienten im Zeitbereich wird vorzugsweise bei Datenübertragungsverfahren verwendet, die im Zeitbereich arbeiten. Solche Verfahren sind z.B. single carrier-Verfahren mit PSK oder QAM-Modulation.

Bei Multicarrier-Signalen mit bekannten gesendeten Symbolen könnte die Schätzung im Zeitbereich ebenfalls durchgeführt werden, da das Sendesignal a priori bekannt ist.

Den Modulationsverfahren kann in Gleichung (2) Rechnung getragen werden, indem die Datensymbole $d(i-m)$ die jeweilige Signalform der verwendeten Modulationsart tragen, ggf. mit partial response pulse shaping. Kanäle mit großem Gedächtnis, d.h. mit langer Impulsdauer, können durch die entsprechende Wahl der maximalen Verzögerung M entzerrt werden. Hierbei wird naturgemäß auch die Beobachtungsdauer N entsprechend lang sein.

In analoger Weise zu Gleichung (2) kann eine Schätzung im Frequenzbereich durchgeführt werden. Hier ergibt sich

$$\sum_{n=0}^{N-1} \left\| R(n) - \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=-K}^K \sum_{m=0}^{M-1} D(n-k) S(m,k) e^{-j2\pi m \frac{n-k}{N}} \right\|^2 \quad (3)$$

Die in (3) gegebenen Variablen $R(n)$ und $D(n-k)$ sind im Frequenzbereich definiert.

Die Schätzung der Scatterer-Koeffizienten im Frequenzbereich wird vorzugsweise bei Datenübertragungsverfahren verwendet, die im Frequenzbereich arbeiten. Solche Verfahren sind z.B. Multicarrierverfahren wie OFDM beim DVB-T Verfahren.

Wie bei der Schätzung im Zeitbereich kann das Datensymbol $D(n-k)$ die Signalform der verwendeten Modulationsart tragen, hier im Frequenzbereich dargestellt.

Wie aus (2) und (3) ersichtlich, werden zur Schätzung der Scatterer-Koeffizienten die gesendeten Daten als bekannt vorausgesetzt. Die Schätzung erfolgt über N Samples im Zeitbereich bzw. N spektrale Komponenten im Frequenzbereich.

Im Normalfall einer Übertragung wird zu Beginn eine bekannte Symbolfolge gesendet, die zur Synchronisation dient. Anschließend muß der Empfänger bei unbekannten Datenfolgen die Schätzung des Kanals nachführen bzw. bei erneuter Aussendung von Synchronisationsinformationen oder Trainingsymbolen neu schätzen bzw. das Konvergenzverhalten des Schätz- und Nachführalgorithmus adaptieren.

Die Schätzung der Scatterer-Koeffizienten erfolgt vorzugsweise mittels eines rekursiven Kalman- oder eines RLS-Algorithmus, bei dem nach der Initialisierung durch die bekannte Symbolfolge auch bei zunächst unbekannter Folge der Kanal nachgeführt wird. Ein solcher RLS-Algorithmus für die Bestimmung der Scatter-Koeffizienten lautet z.B.

$$\begin{aligned} K(i) &= P(i-1) \cdot D^T(i) \left(D(i) \cdot P(i-1) \cdot D^T(i) + W(i) \right)^{-1} \\ P(i) &= P(i-1) - K(i) \cdot D(i) \cdot P(i-1) \\ e(i|i-1) &= r(i) - D(i) \cdot \hat{S}(i-1) \\ \hat{S}(i) &= \hat{S}(i-1) + K(i) \cdot e(i|i-1) \end{aligned} \quad (4)$$

Hierbei ist $K(i)$ der Kalman-Gain, P die Prediction State Covarianz-Matrix, D die Datenmatrix, die sich aus (2) bzw. (3) ergibt, W die Rausch-Kovarianz-Matrix und \hat{S} der Vektor der geschätzten Scattererkoeffizienten, der durch die Anordnung der Scatterer in einen linearen Vektor aus der Matrix S entsteht. $r(i)$ ist der empfangene abgetastete Signalwert (Zeit oder Frequenzbereich), i der Index in Zeit- oder Frequenzrichtung.

Die Verfahren der rekursiven Schätzung sind an sich bekannt und beispielsweise in S. Haykin, "Adaptive Filter

Theory", 1. Auflage, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall 1986 beschrieben.

Es sollte erwähnt werden, daß der beschriebene RLS
5 Algorithmus nur exemplarisch für die große Anzahl
verschiedener Ausführungen erwähnt wird.

Nach der Initialschätzung des Kanals mit Hilfe von
Training-Symbolen wird ein maximum-likelihood (ML)-Ansatz
10 gewählt, bei dem für unbekannte Datenfolgen für die
Gleichungen (2) und (3) eine Minimierung über alle
möglichen Datenfolgen und alle möglichen Anordnungen der
Scatterer durchgeführt wird.

15 In Verbindung mit der Kanalschätzung kann vorteilhaft ein
Baumsuchverfahren eingesetzt werden. Hierbei wird,
ausgehend vom durch die Trainingsfolge geschätzten Kanal,
für jede der potentiell möglichen Datenfolgen vom
Empfänger ein Pfad innerhalb eines Baumes aufgebaut. Für
20 jeden dieser Pfade wird eine Kanalschätzung mit der
Schätzung der Scatterer durchgeführt und eine Metrik gemäß
(2) bzw. (3) errechnet. Diejenige Datenfolge mit der
besten Metrik wird als die wahrscheinlich empfangene
ausgegeben. Aufgrund des ML-Ansatzes ist die Metrik eine
25 ML-Metrik.

Anstelle der Metriken gemäß (2) bzw. (3), die ja über das
gesamte Beobachtungsintervall N in einem Block ermittelt
werden, kann unter Berücksichtigung von (4) eine
30 inkrementale Metrik verwendet werden

$$\Lambda(i) = \Lambda(i-1) + e(i|i-1) \cdot (r(i) - D(i)^H \hat{S}(i)) \quad (5)$$

Dieses Baumsuchverfahren ist schematisch in Fig. 2 für
binäre Symbole dargestellt, $\lambda(x, \dots, y)$ bezeichnet die Metrik
35 für die angenommenen Symbole $x \dots y$, \hat{S} die Matrix der für
den jeweiligen Pfad ermittelten Scatterer. Die Anzahl der
Indizes gibt die Tiefe des Baumes an, im Beispiel bis

maximal drei. Der zusätzlich markierte Pfad kennzeichnet den über die Metrik momentan ausgewählten besten Pfad.

Der beschriebene Algorithmus ist ein soft output-
5 Algorithmus, der neben den demodulierten Daten auch noch ein Gütemaß für die Demodulation in Form der Metrik ausgeben kann. Demgemäß ist es möglich, nicht nur die als wahrscheinlichste ermittelte Datenfolge auszugeben, sondern auch noch weniger wahrscheinliche. Hiermit können
10 im Empfänger nachgeschaltete Verarbeitungsstufen, z.B. Decodierer, Zusatzinformationen erhalten, die sich auf Qualität des Empfangs positiv auswirken.

So ist es möglich, daß mehrere Datensequenzen in den
15 nachfolgenden Verarbeitungsstufen weiterverarbeitet werden und erst dann eine Entscheidung über die tatsächlich empfangene Sequenz durchgeführt wird.

Das Verfahren läßt sich weiterhin vorteilhaft mit einem
20 Faltungs- oder auch Blockcode als alleinigem oder innerem Code einer verketteten Code-Struktur kombinieren. Es ist bekannt, daß sich Faltungs- und Block-Codes in Form von Baumstrukturen darstellen lassen. Ein Code wirkt sich auf die o.a. Baumstruktur so aus, daß nicht alle Pfade, die
25 bei Nichtberücksichtigung des Codes möglich wären, auch wirklich existieren. Daher wird ein solcher Baum bei Berücksichtigung von Codeinformationen nicht alle Pfade beinhalten.

30 Mit dieser Kombination erhält man eine kombinierte Kanalschätzung und -entzerrung, Demodulation und Decodierung, die als "sequential decoding" bezeichnet wird. Dieses Verfahren ist bekannt, neu ist jedoch die Anwendung in Verbindung mit der Bestimmung der Scatterer-
35 Koeffizienten.

Ein aus dem Beispiel von Fig. 2 abgeleiteter Baum ist in Fig. 3 dargestellt. Durch Vergleich der beiden Bäume wird

deutlich, daß durch den Code bestimmte Pfade nicht existent sind.

Bei mehrwertigen Datensymbolen bzw. langen Datensequenzen
5 ergeben sich im Verlauf der Verarbeitung sehr viele Pfade,
für die jeweils die Metriken und die Scatterermatrizen
sowie weitere Hilfsgrößen für die Algorithmen errechnet
und gespeichert werden müssen. Zur Reduktion des
Rechenaufwands und Speicheraufwands kann die Zahl der
10 verfolgten Pfade reduziert werden. Hierbei werden die
Gesamtzahl der Pfade auf eine maximale Größe, die von der
zur Verfügung stehenden Rechenleistung sowie vom
Speicherbedarf des Empfängers abhängt, begrenzt. Hierbei
15 können die bekannten Metrik-First, Breadth-First oder auch
Depth-First Algorithmen verwendet werden.

Bekannte spezielle Verfahren der Entzerrung mit Baumsuche
haben Nachteile bei Kanälen mit langen Impulsantworten,
bei denen ein Großteil der Energie eines Datensymbols am
20 Ende der Impulsantwort zu liegen kommt und daher a priori
bei der Schätzung des empfangenen Symbols diese Energie
nicht berücksichtigt wird. Hier muß entweder durch eine
entsprechende zusätzliche Verzögerung erst die gesamte
Impulsantwort abgewartet werden oder durch zusätzliche
25 Schätzverfahren mit Modellierung dieser Einflüsse als
Rauschen berücksichtigt werden. Bei der ersten Variante
entstehen viele zusätzliche Pfade, die in der Berechnung
berücksichtigt werden müssen, auch wenn sie nachher wieder
verworfen werden. Wird das Verfahren in allgemeinen und
30 unbekannten Kanälen eingesetzt, muß immer mit der
maximalen Kanalimpulslänge gerechnet und damit der
Algorithmus a priori darauf ausgelegt werden.

Das Verfahren gemäß der Erfindung vermeidet diese
35 Nachteile zwar nicht a priori. Da der Kanal jedoch mit
Hilfe der Scatterer modelliert wird, kann durch Ermittlung
der relevanten Scatterer die maximal vorkommende
Verzögerung und damit die Dimension der Scatterermatrix
bestimmt werden. Während bei bekannten Verfahren diese

maximale Länge immer berücksichtigt werden muß, kann beim erfindungsgemäßen Verfahren adaptiv auf die maximale Verzögerung des Kanals eingegangen und die notwendige Verzögerung bei der Demodulation und Decodierung entsprechend eingestellt werden. Daher wird nur in speziellen Kanälen, bei denen nennenswerte Scatterer bei hohen Verzögerungen auftreten, die große zusätzliche Verzögerung bei der Demodulation und Codierung notwendig werden. Da sich die Geometrie der Scatterer nicht sprunghaft ändert, kann beim Auftreten eines Scatterers mit großer Verzögerung die Dimension der Scatterermatrix adaptiv erhöht werden. Umgekehrt ist es auch möglich, daß beim Verschwinden eines solchen Scatterers die Dimension der Matrix adaptiv verkleinert wird.

Die Entscheidung läßt sich aus (2) formelmäßig wie folgt darstellen

$$\hat{d}(0..N-L-1) = \arg \min_{\substack{d(0..N-L-1) \\ S(m,k)}} \left(\sum_{i=0}^{N-1} \left\| r(i) - \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^M d(i-m) \sum_{k=-K}^K S(m,k) e^{j2\pi \frac{ki}{N}} \right\|^2 \right) \quad (6)$$

Hierbei ist L die notwendige Verzögerung. Das Minimum wird über alle möglichen Datenhypothesen d und alle möglichen Scatterer S ermittelt.

Neben einer Optimierung der Dimension der Scatterermatrix bezüglich Verzögerung kann auch noch eine Optimierung bezüglich der maximal auftretenden Dopplershift erfolgen.

Bei der Entzerrung und Demodulation von single carrier Verfahren können die gesendeten Daten nur ISI in Zeitrichtung verursachen, d.h. in der Vergangenheit gesendete Daten beeinflussen zeitlich später gesendete.

Beim Empfang von Multicarrier-Signalen, z.B. OFDM, ergibt sich aufgrund des ICI im Frequenzbereich, daß ein bestimmter Träger sowohl von benachbarten Trägern in

positiver wie auch negativer Frequenzrichtung beeinflusst wird.

5 Zusätzlich muß beachtet werden, daß sich im Frequenzbereich eine zyklische Fortsetzung der Träger ergibt. Diese zyklische Fortsetzung kann in der Datenmatrix D berücksichtigt werden, indem die in (3) auftretenden Datensymbole $D(n-k)$ mit negativem Index entsprechend besetzt werden.

10

Durch eine ähnliche Berücksichtigung "zukünftiger" Ereignisse, d.h. Daten von höheren Frequenzen, durch entsprechende Verzögerung der Entscheidungen, wie bei der Berücksichtigung langer Verzögerungen in der Kanalimpulsantwort bei der Verarbeitung im Zeitbereich, 15 kann dieser Einfluß berücksichtigt und kompensiert werden. Auch hier kann die Scatterermatrix adaptiv angepaßt werden.

20 Mit (3) in (6) eingesetzt ergibt sich eine analoge Entscheidung für Multicarrier-Verfahren.

Das beschriebene Verfahren kann auch ohne die Initialisierung durch Training-Sequenzen arbeiten. In diesem Fall wird die Verarbeitung mit default-Werten 25 initialisiert, z.B. wird die Matrix P aus (4) als Einheitsmatrix vorbesetzt und der Scatterervektor \hat{S} zu Null initialisiert. Der Algorithmus wird dann in der Regel langsamer konvergieren. Weiterhin müssen alle möglichen Anfangskonfigurationen für die Datenfolgen berücksichtigt 30 werden.

Ansprüche

5

1. Verfahren zur Entzerrung und Demodulation eines über einen zeitveränderlichen Kanal zu einem Empfänger übertragenen Datensignals,

10 dadurch gekennzeichnet,

daß im Empfänger aus dem empfangenen Datensignal diejenigen Scatterer-Koeffizienten (Dämpfung, Verzögerung und Dopplerfrequenz) bestimmt werden, welche die Signalverzerrungen im Kanal hervorrufen, und damit dann
15 das Datensignal entzerzt und anschließend demoduliert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

20 daß die Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten und die Entzerrung des Datensignals im Zeitbereich erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 2,

gekennzeichnet durch

25 seine Anwendung bei Single-Carrier-Datenübertragungsverfahren.

4. Verfahren nach Anspruch 2,

gekennzeichnet durch

30 seine Anwendung bei Multicarrier-Datenübertragungsverfahren bei Empfang von bekannten Datenfolgen (Trainings- oder Synchronisationssequenzen).

5. Verfahren nach Anspruch 1,

35 dadurch gekennzeichnet,

daß die Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten und die Entzerrung des Datensignals im Frequenzbereich erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

gekennzeichnet durch
seine Anwendung bei Multicarrier-
Datenübertragungsverfahren.

- 5 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Scatterer-Koeffizienten über ein maximum-
likelihood-Kriterium bestimmt werden.
- 10 8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß das maximum-likelihood-Kriterium aus der euklidischen
Distanz zwischen dem Empfangssignal sowie der Scatterer-
Koeffizienten und den im Empfänger demodulierten Daten des
15 Signals bestimmt werden.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß eine erste Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten mit
20 Hilfe einer bekannten Datensequenz (Trainings- oder
Synchronisationssequenz) durchgeführt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
25 daß die erste Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten
blockweise über eine gesamte Datensequenz durchgeführt
wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1
30 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß für die Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten ein
Kalman-Algorithmus iterativ benutzt wird.
- 35 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1
bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß für die Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten ein
recursive-least-square Algorithmus iterativ benutzt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10,

dadurch gekennzeichnet,

daß die bei der ersten Bestimmung ermittelten Scatterer-
Koeffizienten für den anschließenden Nutzdatenempfang
benutzt werden, wobei die Daten blockweise über eine
gesamte Datensequenz entzerrt und demoduliert werden und
mit den so blockweise entzerrten und demodulierten Daten
die bei der ersten Bestimmung ermittelten Scatterer-
Koeffizienten korrigiert werden.

14. Verfahren nach einem der vorhergehende Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

daß die bei der ersten Bestimmung ermittelten Scatter-
Koeffizienten für den anschließenden Nutzdatenempfang
benutzt werden, wobei mit den entzerrten und demodulierten
Daten die bei der ersten Bestimmung ermittelten Scatterer-
Koeffizienten nach einem Kalman- oder recursive-least-
square-Algorithmus korrigiert werden.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14,

dadurch gekennzeichnet,

daß zur Korrektur der Scatterer-Koeffizienten sowie für
die Datendemodulation ein Baumsuchverfahren eingesetzt
wird, bei dem für alle möglichen Datenfolgen jeweils die
Scatterer-Koeffizienten sowie die Metriken bestimmt werden
und aus der Baumstruktur dann diejenigen Datenfolgen
ausgewählt werden, welche die beste maximum-likelihood-
Metrik besitzen.

16. Verfahren nach Anspruch 15,

dadurch gekennzeichnet,

daß die den ausgewählten besten Datenfolgen entsprechenden
Scatterer-Koeffizienten im Weiteren zur Entzerrung und
Demodulation benutzt werden.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Auswahl der Datenfolgen blockweise für die gesamte betrachtete Datensequenz erfolgt.

18. Verfahren nach Anspruch 15 bis 16,
5 **dadurch gekennzeichnet,**
daß die Auswahl der Datenfolgen nach Erreichen einer vorgegebenen Pfadtiefe des Baumes durchgeführt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 15 bis 18,
10 **dadurch gekennzeichnet,**
daß beim Baumsuchverfahren ein Metrik-First-Algorithmus benutzt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 15 bis 18,
15 **dadurch gekennzeichnet,**
daß beim Baumsuchverfahren ein Breadth-First-Algorithmus benutzt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 15 bis 18,
20 **dadurch gekennzeichnet,**
daß beim Baumsuchverfahren ein Depth-First-Algorithmus benutzt wird.

22. Verfahren nach Anspruch 15 bis 21,
25 **dadurch gekennzeichnet,**
daß beim Baumsuchverfahren die Pfadtiefe bzw. die Anzahl der Pfade adaptiv gemäß den ermittelten Scatterer-Koeffizienten variiert wird.

- 30 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 22,
dadurch gekennzeichnet,
daß bei der Ausgabe der demodulierten Datenfolge der Metrikwert mit ausgegeben wird.

- 35 24. Verfahren nach Anspruch 15 bis 22,
dadurch gekennzeichnet,
daß zusätzlich zur Datenfolge mit der besten maximum-likelihood-Metrik auch noch weitere nächstbeste

Datenfolgen mit nächstbester maximum-likelihood-Metrik ausgegeben werden.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 24,
5 **dadurch gekennzeichnet,**
daß beim Empfang von nach einem Code codierten
Datensignalen beim Baumsuchverfahren nur die gültigen
Codewörtern entsprechenden Datenfolgen berücksichtigt
werden.
- 10 26. Verfahren nach Anspruch 25,
dadurch gekennzeichnet,
daß beim Baumsuchverfahren unter Berücksichtigung des
Codes zusätzlich ein Viterbi- oder APP-Algorithmus benutzt
15 wird.
27. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die erste Bestimmung der Scatterer-Koeffizienten nur
20 mit unbekannten Nutzdatenfolgen durchgeführt wird und bei
der Initialisierung der Algorithmen anstelle der Training-
und Synchronisationssequenzen default-Werte verwendet
werden.
- 25 28. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß die maximale Anzahl der zu berücksichtigenden
Scatterer-Koeffizienten in den Algorithmen anhand der
jeweils vorher ermittelten Scatterer-Koeffizienten
30 angepaßt wird.

1/2

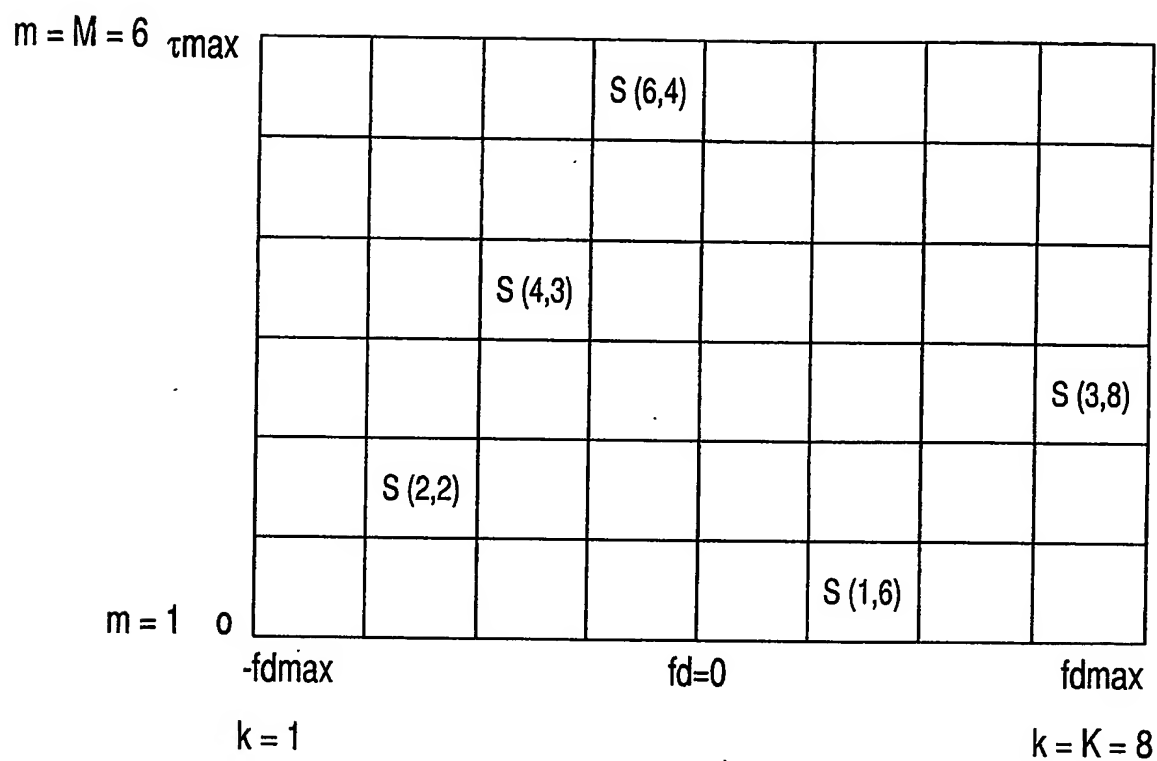


Fig. 1

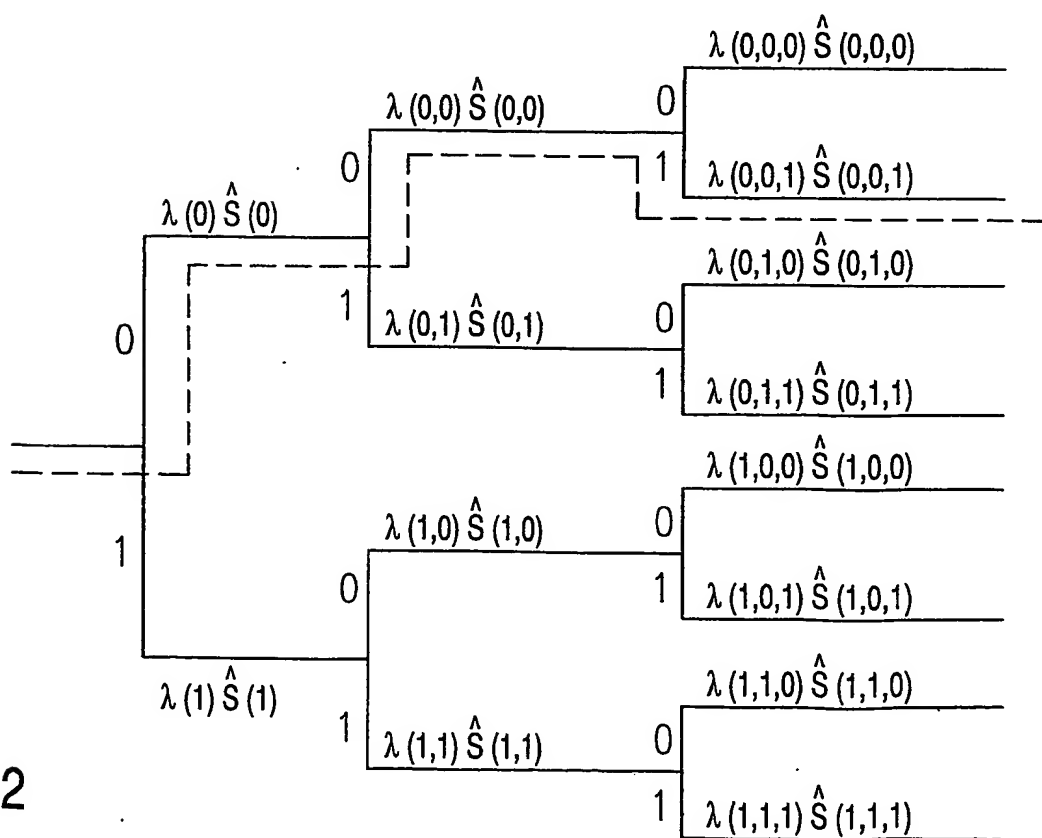


Fig. 2

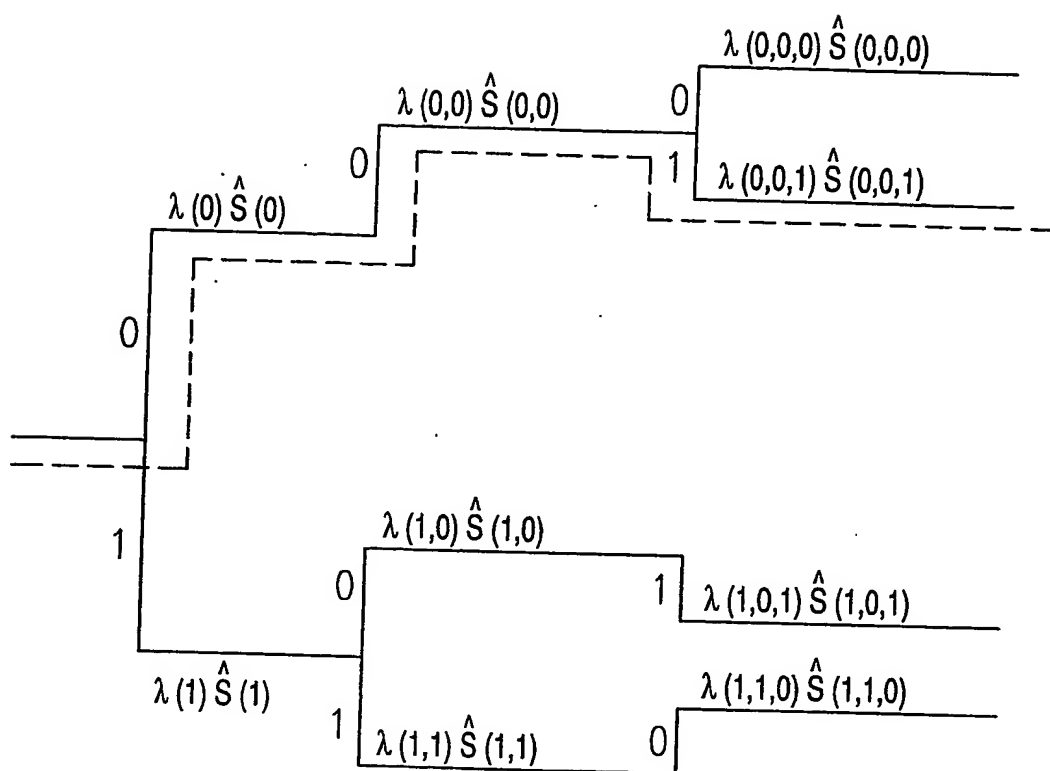


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Int: Application No
 PCT 03/05068

 A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 H04L27/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04L H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

INSPEC, EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	GLIGOREVIC S ET AL: "A new approach to tracking time-variant channels" 5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WIRELESS PERSONAL MULTIMEDIA COMMUNICATIONS. PROCEEDINGS (CAT. NO.02EX568), 5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WIRELESS PERSONAL MULTIMEDIA COMMUNICATIONS, HONOLULU, HI, USA, 27-30 OCT. 2002, pages 1342-1345 vol.3, XP002247193 2002, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-7442-8 the whole document --- -/--	1-28

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 July 2003

Date of mailing of the international search report

25. 07. 2003

Name and mailing address of the ISA

 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

ÅSA HÄLLGREN/JA A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No

PCT/03/05068

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DIGGAVI S ET AL: "Intercarrier interference in MIMO OFDM" 2002 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS. CONFERENCE PROCEEDINGS. ICC 2002 (CAT. NO.02CH37333), PROCEEDINGS OF IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, NEW YORK, NY, USA, 28 APRIL-2 MAY 2002, pages 485-489 vol.1, XP010589542 2002, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-7400-2 Section I-II abstract	1-28
X	--- US 6 320 919 B1 (FULGHUM TRACY ET AL) 20 November 2001 (2001-11-20) column 1, line 10 - line 22 column 9, line 7 - line 10 column 12, line 11 - line 30 abstract	1-28
A	--- W0 00 24168 A (ERICSSON INC) 27 April 2000 (2000-04-27) page 1 -page 3 page 20 abstract	1-28
A	--- WON GI JEON ET AL: "An equalization technique for orthogonal frequency-division multiplexing systems in time-variant multipath channels" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, JAN. 1999, IEEE, USA, vol. 47, no. 1, pages 27-32, XP002211507 ISSN: 0090-6778 Section I-II,IV abstract	1-28
A	--- US 6 134 277 A (SHAH ALI R) 17 October 2000 (2000-10-17) column 1 -column 3 abstract -----	1-28

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

In
Patent Application No
P 03/05068

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6320919	B1	20-11-2001	AU 6044099 A BR 9915776 A CN 1328737 T EP 1135908 A1 JP 2002532006 T WO 0033526 A1	19-06-2000 14-08-2001 26-12-2001 26-09-2001 24-09-2002 08-06-2000
WO 0024168	A	27-04-2000	US 6411649 B1 AU 1093400 A BR 9914656 A CA 2345534 A1 WO 0024168 A1	25-06-2002 08-05-2000 03-07-2001 27-04-2000 27-04-2000
US 6134277	A	17-10-2000	AU 754197 B2 AU 9299698 A CA 2301738 A1 CN 1278975 T DE 19882651 T0 GB 2346304 A ,B WO 9912301 A2	07-11-2002 22-03-1999 11-03-1999 03-01-2001 10-08-2000 02-08-2000 11-03-1999

PCT/EP 03/05068

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H04L27/26

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H04L H04B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

INSPEC, EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X,P	<p>GLIGOREVIC S ET AL: "A new approach to tracking time-variant channels"</p> <p>5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WIRELESS PERSONAL MULTIMEDIA COMMUNICATIONS. PROCEEDINGS (CAT. NO.02EX568), 5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WIRELESS PERSONAL MULTIMEDIA COMMUNICATIONS, HONOLULU, HI, USA, 27-30 OCT. 2002, Seiten 1342-1345 vol.3, XP002247193</p> <p>2002, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA</p> <p>ISBN: 0-7803-7442-8</p> <p>das ganze Dokument</p> <p style="text-align: center;">---</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	1-28

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. Juli 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

25. 07. 2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

ÅSA HÄLLGREN/JA A

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DIGGAVI S ET AL: "Intercarrier interference in MIMO OFDM" 2002 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS. CONFERENCE PROCEEDINGS. ICC 2002 (CAT. NO.02CH37333), PROCEEDINGS OF IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, NEW YORK, NY, USA, 28 APRIL-2 MAY 2002, Seiten 485-489 vol.1, XP010589542 2002, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-7400-2 Section I-II Zusammenfassung ---	1-28
X	US 6 320 919 B1 (FULGHUM TRACY ET AL) 20. November 2001 (2001-11-20) Spalte 1, Zeile 10 - Zeile 22 Spalte 9, Zeile 7 - Zeile 10 Spalte 12, Zeile 11 - Zeile 30 Zusammenfassung ---	1-28
A	WO 00 24168 A (ERICSSON INC) 27. April 2000 (2000-04-27) Seite 1 -Seite 3 Seite 20 Zusammenfassung ---	1-28
A	WON GI JEON ET AL: "An equalization technique for orthogonal frequency-division multiplexing systems in time-variant multipath channels" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, JAN. 1999, IEEE, USA, Bd. 47, Nr. 1, Seiten 27-32, XP002211507 ISSN: 0090-6778 Section I-II,IV Zusammenfassung ---	1-28
A	US 6 134 277 A (SHAH ALI R) 17. Oktober 2000 (2000-10-17) Spalte 1 -Spalte 3 Zusammenfassung -----	1-28

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

In nationales Aktenzeichen

PC 03/05068

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6320919	B1	20-11-2001	AU 6044099 A 19-06-2000
		BR 9915776 A 14-08-2001	
		CN 1328737 T 26-12-2001	
		EP 1135908 A1 26-09-2001	
		JP 2002532006 T 24-09-2002	
		WO 0033526 A1 08-06-2000	
WO 0024168	A	27-04-2000	US 6411649 B1 25-06-2002
		AU 1093400 A 08-05-2000	
		BR 9914656 A 03-07-2001	
		CA 2345534 A1 27-04-2000	
		WO 0024168 A1 27-04-2000	
US 6134277	A	17-10-2000	AU 754197 B2 07-11-2002
		AU 9299698 A 22-03-1999	
		CA 2301738 A1 11-03-1999	
		CN 1278975 T 03-01-2001	
		DE 19882651 T0 10-08-2000	
		GB 2346304 A ,B 02-08-2000	
		WO 9912301 A2 11-03-1999	